



3. FEJEZET

NÉHÁNY PÉLDA A TUDOMÁNYTÖRTÉNETI VONATKOZÁSOK KUTATÁSALAPÚ FELDOLGOZÁSÁHOZ

Radnóti Katalin

A tudománytörténet kiváló lehetőséget ad arra, hogy fejlesszük a diákok tudományos gondolkodását, megmutassuk a tudomány működését, közelebb hozunk számukra néhány tudományos problémát és a megoldásukhoz vezető utat. Célunk, hogy a fizika tantárgy követelményeiben szereplő tudománytörténeti témákban segítséget adjunk a diákoknak a felkészüléshez, a tanároknak a felkészítéshez, de a segédlet az oktatási folyamatban is használható. A feldolgozás során alkalmazuk a korábbi fejezetekben bemutatott *természettudományos, történeti és kutatási szemléletet*. Kitérünk az egyes tudósok rövid életrajzára, az adott korszak történelmi hátterére, fő tudományos eredményeire, különös tekintettel a fizikával kapcsolatos *tudományos problémákra*, az akkori *kutatási kérdésekre*, arra, hogyan sikerült azokat megválaszolni, és mindez miként jeleníthető meg a fizikaoktatásban. Alapvető forrásokként támaszkodunk Simonyi Károly (1978) *A fizika kultúrtörténete* című könyvére, továbbá a *História – Tudósnaplár* weboldala¹.

ARKHIMÉDÉSZ (SIRACUSA, KB. I. E. 287 – SIRACUSA, I. E. 212)



A szicíliai Siracusa városban született, ami Korinthosz gyarmata volt, és az i. e. 8. században alapították. A terület ma Olaszországhoz tartozik. Fiatal korában Egyiptomban, Alexandriában töltött néhány évet, és minden bizonnyal kapcsolatot tartott az alexandriai tudósokkal a város híres könyvtárában, amely mintegy korabeli kutató-intézetként működött. Itt barátkozott össze többek között ERATOSZTHENÉSSZEL (Küréné, i. e. 276 – Alexandria, i. e. 194), aki elsőként adott becslést a Föld méretére. Arkhimédész tudományos eredményeiről is nagyrészt a két tudós baráti-tudományos levelezéséből tudunk. ARKHIMÉDÉSZ később Alexandriából visszaköltözött Siracusába rokona, II. Hierón (i. e. 306 – i. e. 215) király udvarába, és itt élte le élete hátralevő részét. A második pun háború során, melynek részeként a rómaiak megostromolták a punok oldalán álló Siracusát, ARKHIMÉDÉSZ ötletes gépezeteket szerkesztett, és ezeknek köszönhetően a védők két évnél is tovább tudták tartani a várost, amely végül csak árulás eredményeként esett el. A római hadvezér ugyan megparancsolta, hogy a nagy tudós életét kíméljék meg, de egy légionárius mégis leszúrta.

A korabeli tudomány állása

Sok megfigyelési anyag gyűlt össze a természetről, amit Arisztotelész foglalt írásba. Ezek között vannak ma már tévesnek ítélt elképzelések is, mint például:

- a nehezebb test nagyobb sebességgel esik,
- minden testnek megvan a természetes helye,
- különül az égi és a földi fizika stb.

¹ <https://tudosnaplar.kfki.hu/historia/>

A geometria fejlett volt, melyet EUKLEIDÉSZ foglalt írásba. A származtatott fogalmak – amelyek a mélyebb megértést lehetővé tették volna – azonban még hiányoztak.

Művei

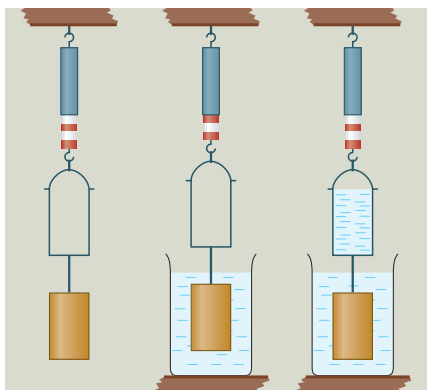
- A síkok egyensúlyáról
- A parabola területéről
- A gömbről és a hengerről
- A körmérés és gömbmérés
- A csigavonalakról; a konoidokról és szferoidokról
- Homokszámlálás
- Az úszó testekről

A róla elnevezett törvény alapját, a felhajtóerő jelenségét (könnyebb lesz vízben a test) jól írta le, de természetesen nem a mai értelemben vett sűrűség- és erőfogalmat használva, hiszen ezek később jelentek meg. ARKHIMÉDÉSZ így fogalmaz *Az úszó testekről* c. könyvében:

„Bármely test, amely könnyebb a víznél, teljesen a víz alá nyomva azzal az erővel igyekszik felfelé, amely a test által kiszorított víz súlyának és a test súlyának különbségéből adódik. Amennyiben a test nehezebb a víznél, a test lefelé igyekszik akkora erővel, amekkora a test súlyának és az általa kiszorított víz súlyának a különbsége.”
(idézi: Simonyi, 1978, p. 74)



A törvény iskolai demonstrálása az úgynevezett *arkhimédészi hengerpár* segítségével történik (1. ábra).



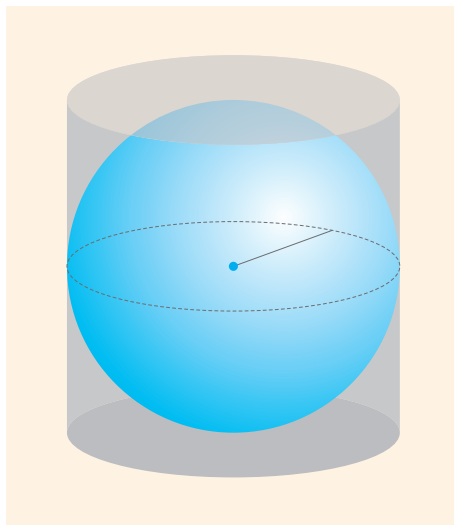
1. ábra Arkhimédészi hengerpár



ARKHIMÉDÉSZ létrehozta a *statika* tudományát, leírta az emelőtörvényt és a hidrosztatikai egyensúlyt. Meghatározta a tömegközéppont (súlypont) fogalmát, és kiszámította (pontosabban: megszerkesztette) számos geometriai alakzat súlypontját.

Az *emelők*re vonatkozó törvények már korábban is ismertek voltak, azonban ezeket Arkhimédész foglalta rendszerbe. Az egyensúly törvényeit a kor tudományos szokásának megfelelő módon úgynevezett axiómák és az ezekből egyszerű logikai lépésekkel levezetett tételek formájában tette közzé. (EUKLEIDÉSZ-NÉL is olvashatók geometriai axiómák és tételek.) Legfontosabb axiómái: a szimmetrikusan terhelt emelő egyensúlyban van; a felfüggesztési pontban az egész súly hat (Simonyi, 1978).

ARKHIMÉDÉSZ *matematikai eredményei*-hez is a mechanikai modelljein keresztül jutott el. Ezek némelyike már az integrálszámítás csíráit hordozza magában (pl. a parabolaszekletek területének, a gömb térfogatának és felszínének kiszámítása során). Tetszés szerinti pontossággal meghatározta a kör területét, közelítő értéket adott a π számra. Leírta, hogy az egyenlő oldalú hengerbe írt gömb térfogatának és felszínének mérőszámainak aránya $2/3$. Sírjára is ezt vészték rá.



2. ábra A hengerbe írt gömb

Találmányai

Találmányai – csigák, tükrök, vízemelő –, melyek közül többet meg is építettek, fontos szerepet játszottak a rómaiakkal folytatott harc során a II. pun háború idején.

Hatása

ARKHIMÉDÉSZ munkája nélkül nem tudta volna KEPLER felfedezni a bolygók ellipszispályáját, hiszen ahhoz ismernie kellett ezt a görbét. GALILEI sem fedezhette volna fel a vízszintes hajítást végző test pályájának parabola alakját, ha nem ismerte volna a parabolát. ARKHIMÉDÉSZNEK a sűrűségfogalom – amelyet több mint ezer évvel később AL BIRUNI vezetett be és 18 anyag esetében meg is mért – megalkotásában is alapvető szerepe volt. A középkorban a sűrűség vált a pénzérmék aranytartalmának meghatározásának fő módszerévé (bár ez nem igazán volt egzakt módszer). Napjainkban minden kifejlesztett új anyag esetében az egyik alapvető mérés a sűrűség meghatározása és táblázatokban való közlése.

A híres történet

Hieron, Siracusa királya fogadalmi ajándékként színaranyból kívánt készíttetetni egy koronát. A korona el is készült, de Hieronban fölmerült a gyanú, hogy az ötvös csalt, és a kapott arany egy részét ezüsttel pótolta. A király ARKHIMÉDÉSZT kérte fel a gyanú igazolására.

A TÉMA KUTATÁSI SZEMLÉLETŰ FELDOLGOZÁSA

A vizsgálandó probléma

Az ötvös minden bizonnyal csalt, vagyis az arany egy részét ellopta. De ezt leplezendő minden bizonnyal az arany egy részét azonos tömegű ezüsttel helyettesítette. Így az általa készített korona tömege megegyezik a király által a munkához rendelkezésre bocsátott arany tömegével.

Kutatási kérdések

- Hogyan lehet kimutatni azt, hogy az ötvös csalt?
- Milyen méréseket kell ehhez elvégezni?
- A mérési eredményekből miként lehet következtetni a csalásra, és lehetőleg annak mértékére is? Mennyi aranyat lophatott el az ötvös?

Vizsgálat

Vitruvius római építész leírása szerint a dolog nyitjára ARKHIMÉDÉSZ akkor jött rá, amikor a fürdőben a vízzel telt fürdőkádba lépve a kádból egyre több víz ömlött ki, minél jobban belemerült a kádba. ARKHIMÉDÉSZ hosszas töprengés után a következő *összehasonlító méréseket* gondolta ki, mellyel még az esetleges csalás mértékét is meg lehet határozni: Kért a koronával azonos súlyú arany-, illetve ezüstkockát. Mindkettőnek és a koronának is meghatározta a térfogatát úgy, hogy megmérte az általuk kiszorított víz térfogatát. Jelöljük a csalás mértékét H -val:

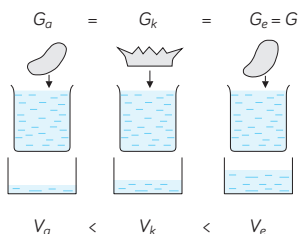
$$H = (V_k - V_a) : (V_e - V_k)$$




ahol V_k a korona által, V_a az aranytömb által, V_e az ezüstitömb által kiszorított víz térfogata. Ha $V_k = V_a$, akkor nincs hamisítás, $H = 0$.

A *tapasztalata* az volt, hogy korona az aranykockánál több vizet szorított ki, amiből arra *következtetett*, hogy valóban csalás történt. A fenti gondolatmenet alapján még a belekevert ezüst mennyiségét is meg lehetett határozni a három térfogatmérés eredményéből.

Arkhimédész módszerére épülő feladat²

Siracusa királya, Hierón, koronát csináltatott magának. Ehhez át is adott ötvösének megadott tömegű aranyat. Később azonban gyanút fogott, hogy az ékszerész az arany egy részét kicserélte ezüstre. Gyanúja igazolásához ARKHIMÉDÉSZT kérte fel, aki tömeg- és térfogatmérések alapján adott választ a kérdésre. Méréseinek adatai a táblázatban láthatók.



Mennyiség	A) 	B) 	C) 
tömeg (g)	3750	3750	3750
térfogat (cm ³)	357	194	315

Az arany sűrűsége $19,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, az ezüst sűrűsége $10,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Válaszoljon a következő kérdésekre!

- Melyik korona készült arany-ezüst ötvözetből?
- Mekkora az ötvözet átlagos sűrűsége?
- Mennyi az ötvözet ezüsttartalma?
- Mekkora a koronában lévő ezüst térfogata, illetve tömege?

Megoldás

A sűrűségeket kiszámítva az A) korona ezüst, a B) korona arany, a C) korona az ötvözet, mivel itt köztes érték jön ki az osztásnál.

$$\text{Az ötvözet átlagos sűrűsége: } \frac{3750}{315} = 11,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Az ezüst térfogatát jelöljük x -szel! Írjuk fel ezzel az arany és az ezüst tömegét, melyek összege 3750 g. $19,3 \cdot (315 - x) + 10,5x = 3750$, innen $x = 264,7 \text{ cm}^3$. Az ezüst tömege a sűrűséggel való szorzás után: 2779,5 g.

Javaslatok további feladatokra a sűrűségfogalom témában

Próbáljátok meg bemutatni a koronahamisítás esetét *vas* és *alumínium* felhasználásával! Mérjétek meg a szükséges adatokat, illetve használjatok különböző táblázatokat! A kétféle fém nem kell feltétlenül megolvasztani és ténylegesen összekeverni, elég, ha csak szorosan összeerősítitek. Arra figyeljétek, hogy az össztömeg minden esetben ugyanakkora legyen! Például használhattok vasból és alumíniumból készült szegecsket, melyeket egy vízhatlan nejlonzacskóba helyeztek. Ekkor

² A feladat 2018-ban szerepelt az ELTE TTK első éves fizika szakosok szintfelmérő dolgozatában.

nagyon kell figyelni, hogy ne legyen levegő is a lezárt zacskóban. Vizsgálatok meg többféle esetet is!

A kémiai tanulmányokhoz kapcsolódóan érdemes a periódusos rendszer elemeinek is megnézni a sűrűségét. Hol helyezkednek el a legnagyobb sűrűségű elemek, és mi lehet ennek a magyarázata. (Ezek a d mezőben helyezkednek el, azok közül is a nagyobb rendszámúak, mert ezek a legkompaktabbak, de nagy az f mezőbeli elemek sűrűsége is.)



A sűrűségfogalomra a fizikatanulás végén is érdemes visszatérni az atommagok tanulmányozásakor, mivel az az érdekes jelenség áll fenn, hogy az atommagok sűrűsége állandó, függetlenül attól, hogy mely elem atommagjáról van szó. Sőt, mai tudásunk szerint vannak olyan égitestek, melyek atommagnyi sűrűségűek. Ezek a neutroncsillagok.

KOPERNIKUSZ (TORUŃ, 1473 – FROMBORK, 1543)

Nikolausz KOPERNIKUSZ (latin írásmóddal Nicolaus COPERNICUS) 1473-ban született a lengyelországi Toruńban. Apja kereskedő volt, akinek halála után püspök nagybátyja gondoskodott róla. Krakkóban, majd Bolognában, Padovában, Ferrarában (itt doktorált 1503-ban kánonjogból) és Rómában tanult. Orvosi tanulmányokat is folytatott, nagybátyja háziorvosa is volt egyben. 1512-ben a fromborki dóm kanonokja lett. 1520-ban hivatalos elfoglaltságaitól visszavonult, és a székesegyház tornyában berendezett csillagvizsgálójában már csak a csillagászzal és a heliocentrikus világkép elméletével foglalkozott. Fromborkban halt meg 1543-ban. Asztronómiai gondolatait az 1514 körül kézirat formájában közzétett *Commentariolus* című rövid írása révén ismertette meg a világgal. A részletesebb leírást sokévi várakozás után tanítványa, RHETICUS (Georg Joachim RHETICUS, Feldkirch, 1514 – Kassa? 1574), wittenbergi professzor 1540-ben megjelent *Narratio prima* című, KOPERNIKUSZ munkája alapján készült könyvéből ismerhette meg az akkori Európa. KOPERNIKUSZ fő műve, a *De revolutionibus orbium coelestium* (Az égi pályák körforgásáról) csak 1543-ban, a halála évében jelent meg Nürnbergben. Sokan ettől az évtől számítják az újkori tudomány kezdetét.



KOPERNIKUSZ KUTATÁSAINAK FELDOLGOZÁSA

A vizsgálandó probléma

A ptolemaioszi földközéppontú modell nagyon pontatlanul írja le az égitestek mozgását. Bonyolult módon helyezi el a köröket, és nem ad magyarázatot például a bolygók retrográd mozgására.

Kutatási kérdések

Milyen új modellel lehetne pontosabban és egyszerűbben leírni az égitestek mozgását? Hogyan lehetne a köröket (deferensek és epiciklusok) alkalmasabban elhelyezni, hogy azok magyarázatot adjanak például a retrográd mozgásokra?

Kopernikusz feltevései



- „1. Az égitesteknek és égi szféráknak nincs egyetlen központjuk.
2. A Föld központja nem központja az univerzumnak, hanem csak a gravitációnak és a Hold szférájának.
3. Minden szféra a Nap mint középpont körül mozog, így a Nap az univerzum központja.
4. A Föld–Nap-távolság aránya a csillagos ég magasságához olyan sokkal kisebb, mint a Föld sugarának aránya a Naptól mért távolságához, hogy a Föld–Nap-távolság észrevehetően kicsi a csillagos ég magasságához képest.
5. A csillagos ég mozgásának látszata nem a csillagos ég valódi mozgásának, hanem a Föld mozgásának következménye. A Föld a környező elemekkel együtt naponta egyszer megfordul rögzített pólusai körül, míg a csillagos ég és a legfelsőbb mennyek mozdulatlanul maradnak.
6. A Nap mozgásának látszata nem saját mozgásának, hanem a Föld mozgásának következménye, mellyel ugyanúgy keringünk a Nap körül, mint bármelyik másik bolygó. Így a Földnek egyenél több mozgása is van.
7. A bolygók látszó retrográd és direkt mozgásai nem saját mozgásuknak, hanem a Föld mozgásának következményei. A Föld mozgása tehát képes magyarázatot adni az eget mozgásában látszó számos egyenlőtlenségre.” (Copernicus, 1543, idézi: Kutrovác, 2015)

Kopernikusz modelljének értékelése

KOPERNIKUSZ heliocentrikus világképe – szemben PTOLEMAIOSZ geocentrikus modelljével – egyszerű és logikus magyarázatot ad olyan égi jelenségekre, mint a bolygók fényességének változása, a retrográd mozgások, vagy a Hold fázisainak különbözősége. A Földnek a többi bolygó közé sorolásával KOPERNIKUSZ megszüntette az éles különbségtételt a földi és az égi események között. Modelljének egyetlen hibája, hogy ragaszkodott a bolygók körpályájához. Ezért is késlekedett művének kiadásával, mert az így számított bolygópozíciók a körpályák feltételezése miatt pontatlanabbak voltak a korábbiaknál. A problémát később KEPLERNEK sikerült megoldania az ellipszispályák feltételezésével. Sajnálatos tény, hogy míg PTOLEMAIOSZ a teljes égi mozgást 40 kör felhasználásával vélte leírni, addig KOPERNIKUSZNAK a pontosabb leíráshoz 48 epiciklusra volt szüksége. Napközéppontú modellje végül valójában

egyáltalán nem volt egyszerűbb, mint a ptolemaioszi, de azt csak kevesen ismerték. Amit ismertek, és napjainkban is erre hivatkoznak, az az egyszerűsített modell, melynek középpontjában a Nap található. És igazából ez az, amelyik hatott a későbbi korok tudósaira. Ezt nevezik sokan kopernikuszi fordultnak.

KEPLER (WEIL DER STADT, 1571 – REGENSBURG, 1630)



Johannes KEPLER 1571-ben született Weil der Stadtban. Egyetemi tanulmányait Thübingenben végezte, ahol a kopernikuszi tanokkal is megismerkedett. 1594-től Grazban tanított, ahol naptárakat is készített a kor szokásainak megfelelő asztrológiai jóslatokkal. 1600-ban lett Tycho de BRAHE (Knudstrup, 1546 – Prága, 1601) asszisztense, majd egy évvel később utóda Prágában mint Rudolf császár udvari matematikusa és csillagásza. Itt jelent meg 1609-ben az *Astronomia nova* (Új csillagászat) című műve, amelyben a róla elnevezett 1. és 2. törvényt találjuk. Az 1611-ben megjelent *Dioptrice* (Optika) című munkájában a kis szögekre érvényes törési törvény, a Galilei-féle távcső elmélete és a Kepler távcső leírása található. Ezért az optika mint tudományterület megalkotójának is tekintik. 1619-ben jelent meg a *Harmonices mundi* (Égi harmóniák) című műve, amely a róla elnevezett 3. törvényt is tartalmazza. 1630-ban halt meg Regensburgban.

A 16–17. században a kopernikuszi elképzelés mellett tudományos körökben népszerű volt a Tycho de BRAHE által használt modell is, mely a geocentrikus és a napközepű modellek „keverékének” tekinthető. Eszerint a középpontban a Föld áll és a Nap kering körülötte, az összes többi bolygó pedig a Nap körül kering. Ezt egyiptomi rendszernek is nevezik, melyet a görög Herakleitosz talált ki az ókorban. Tycho de BRAHE (Knudstrup, 1546 – Benátky (Prága mellett), 1601) II. Frigyes dán király udvari csillagásza volt, akinek halála után, 1597-ben költözött Prágába, Rudolf császár udvarába. Közel húsz éven keresztül figyelte és jegyezte fel a bolygók mozgását (a csillagokhoz képest megfigyelhető bolygópozíciók alapján) az akkor elérhető legnagyobb pontossággal. 1601-ben bekövetkezett halála után ezeket az adatokat felhasználva tudta KEPLER megfogalmazni a törvényeit.

A korszak tudományos problémája

Egyik modell – sem a kopernikuszi, sem pedig az egyiptomi – nem írta le jól a valóságot, nem összeegyeztethető a megfigyelési adatokkal.

Kutatási kérdések

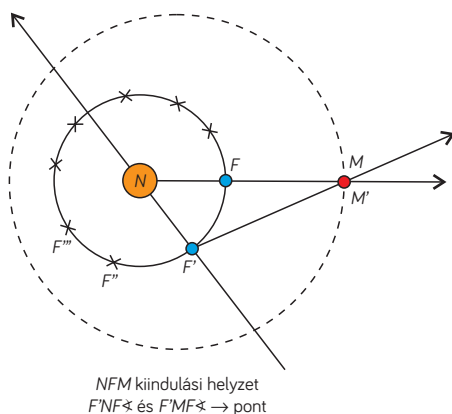
Milyen alakú lehet a bolygók pályája? Hogyan lehet a Mars „valódi” pályáját (már-mint a Nap körül) meghatározni BRAHE már meglévő megfigyelési adatainak felhasználásával? Hogyan célszerű az adatokat csoportosítani?

A megfelelő modell kiválasztása

KEPLER az akkor létező világmodellek közül a *kopernikuszi modellt* fogadta el, vagyis az egész rendszer középpontjának a Napot tekintette. KEPLER zsenialitását és mérészségét bizonyítja, hogy hajlandó volt a körköröség eszméjétől megszabadulni, és valamilyen más görbét keresni, melyet végül az ellipszisben talált meg. KEPLER gondolatmenetét Simonyi könyve alapján idézzük fel (Simonyi, 1978).

A földpálya alakja

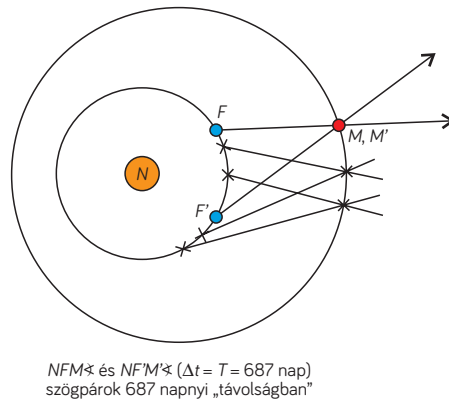
A földpálya alakjának meghatározásához KEPLER egyedülálló ötlettel állt elő, a megfigyelő pozícióját a Marsra helyezte át. Kiinduló helyzetként az szerepelt, amikor a Nap, a Föld és a Mars egy egyenesbe esik (NFM). Ismerte továbbá a Mars Nap körüli keringési idejét, ez 687 nap, tehát ennyi idő elteltével a Mars ismét a kiindulással azonos térbeli helyzetbe kerül. A Föld viszont ebben az időpontban pályájának valamilyen F' pontjában lesz. Ezt a pontot pedig meg lehet szerkeszteni, ha ismerjük a *Nap–Föld* és a *Mars–Föld* irányt. Újabb 687 nap múlva a Mars ismét ugyanabban a helyzetben lesz, a Föld pályájának egy másik, F'' pontjában, mely szögmérések segítségével ismét megszerkeszthető. És így tovább, vagyis anélkül, hogy bármi egyebet tudnánk a Mars pályájáról, mint a keringési időt, a Föld pályájának az alakja megszerkeszthető. A távolságok itt és a későbbiekben is relatív távolságok. Minden távolság a Föld Naptól mért távolságához viszonyítva van kifejezve.



A Mars pályája

A földpálya ismeretében határozta meg KEPLER a Mars pályáját. Az egyes pontok megszerkesztéséhez a következő gondolatmenetet követte. Előzetes tudásként ismét felhasználta azt, hogy a Mars Nap körüli mozgásának periódusideje 687 nap. Tehát 687 naponként a Mars ugyanabban a térbeli helyzetben van. Válasszunk ki két, egymástól 687 napnyi „távolságban” lévő helyzetet a földpályán. Ha megmérjük a Mars irányát mindkét helyzetben, akkor a két irányvonal metszéspontja kijelöli a marspálya egyik pontját. Ezt a szerkesztést kell sok esetben elvégezni, hogy minél több pont legyen az ismeretlen görbén. A hosszú évekig tartó méréssorozatot nem kellett KEPLERnek elvégezni, hiszen rendelkezésére álltak BRAHE adatai,

„mindössze” a számára szükségeseket kellett azokból kiválogatni. Vagyis a 687 naponkénti adatpárokat kellett kikeresni és megszerkeszteni az egyes pontokat. Így valójában meg lehetett kapni a pálya „nyomképét”, melyből a bolygó pálya menti sebessége, illetve annak változása is „látható” volt. (Az azonos időszakok végpontjaiban kapott pontok sűrűsége alapján.) Ez a magyarázata annak, hogy KEPLER valójában a róla elnevezett 2. törvényt előbb fogalmazta meg, mint az első.



Azt, hogy ezek a mérési eredmények milyen görbére illeszthetők, szintén nem volt könnyű feladat megtalálni. A kúpszeletekkel, így az ellipszissel már az ókori görögök is sokat foglalkoztak. Ezt a tudást felhasználva lehetett azonosítani a pálya alakját mint ellipszist.

Kepler munkájának értékelése

KEPLER munkája alapvető volt a newtoni fizika kialakulásához. Kortársai viszont nem igazán értékelték. GALILEI sem értette meg a Kepler-törvények jelentőségét. Ez a feladat NEWTONRA és kortársaira várt.

GEO- ÉS HELIOCENTRIKUS VILÁGKÉP – EGY PARADIGMA VÁLTOZÁSA

Egy adott korban a tudósok látásmódját erősen befolyásolja a korszak ideológiája, szemléletmódja, amelytől nagyon nehezen tudnak megszabadulni. Erre kiváló példa az egyenletes körmozgás, amelyet Platón (Athén vagy Aigina, i. e. 427 – Athén, 347) vezetett be a bolygók mozgásának leírására, ARISZTOTELÉSZ (Sztagira, i. e. 384 – Kalisz, 322) emelt „dogmává”, majd hosszú évek múlva PTOLEMAIOSZ is egyenletes körmozgásokból próbálta összerakni a bolygók pályáját, a deferensek mellett számtalan segédkört, epiciklust felhasználva. Évszázadok múlva KOPERNIKUSZ is addig helyezte a köröket, amíg végül a bolygók mozgását ő is le tudta írni egyenletes körmozgások eredőjeként. Így természetesnek vehető, hogy KEPLER is mindenáron körre akarta illeszteni a megfigyelésekből nyert adatokat. Kivételes zsenialitásának és legalább ennyire kitartásának köszönhető, hogy megszabadult ettől a „dogmától” és több „vargabetű” után felfedezte, hogy a megfelelő görbe az ellipszis, majd a többi róla elnevezett törvényt is megfogalmazta.

KEPLER a Mars pályájával kapcsolatos *kérdését egy modell keretei között* fogalmazta meg, nevezetesen a kopernikuszi modellt választotta. A Föld és a többi bolygó keringési idejének eleve csak ebben a modellben van értelme. A pályák alakjára vonatkozóan *különböző hipotézisei* voltak. Ilyen volt az addigi modellekben kizárólagosan szereplő kör. Megpróbálta tehát a kiválasztott *észlelési adatok alapján* kapott pontokat körre illeszteni, de ez a *hipotézise nem vált be, újat kellett keresni*. Végül *rátalált az ellipszisre*, de ezt azért tudta megtenni, mert már ismert volt az ellipszis fogalma. Ezt a görbét nem neki kellett felfedezni.

Jellemző volt KEPLER gondolkodásmódjára, hogy a pálya meghatározását nem egyszerű geometriai problémaként kezelte, ahogy addig mindenki, hanem fizikai erővel kapcsolatos oksági magyarázatot keresett. A Nap központi helyre való állításában is kifejeződött ez, mert KEPLER már a tömegvonzásra is gondolt. Új fogalmi rendszerbe illesztette a problémát, másképp látta, mint azt elődei tették. Továbbá BRAHE példájából látható, hogy hiába végez valaki rendkívül pontos megfigyeléseket, csupán csak a mérési adatokból nem tud törvényszerűségeket kiolvasni. Jól példázza ezt Koestler szellemes megállapítása:



„Tudni kell használni az észleleteket; a nehézséget az okozza, hogy mikor vegyük figyelembe az egyiket, s mikor a másikat.” (Koestler, 1996, p. 444)

NEWTON (WOOLSTHORPE, 1643 – LONDON, 1727) – „AZ ÉGI ÉS FÖLDI MECHANIKA EGYESÍTÉSE”



Isaac NEWTON 1643. január 4-én született Woolsthorpe-ban, amit apja már nem élt meg. Édesanyja másodszor is férjhez ment, így a kis Isaacot a nagyanyja nevelte fel. NEWTON falusi iskolába járt, majd a városi iskolába írtatták. NEWTON a középiskola után Cambridge-be ment tanulni a Trinity College-ba. 1665–1666-ban pestisjárvány dúlt, emiatt NEWTON hazament, és ebben az időszakban jött rá a differenciál- és integrálszámítás alapjaira, továbbá a gravitációs erőtvényre. 1670-től adott elő a Trinity College-ban, elsősorban fénytant. 1672-ben küldte el saját készítésű *tükrös távcsövét* a Királyi Társaságba (Royal Society). A csillagászati megfigyelésekhez azóta is elsősorban tükrös távcsövet használnak. 1687-ben jelent meg élete fő műve: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (A természetfilozófia matematikai alapjai) címmel. 1696-tól a pénzverde őre, 1699-től az igazgatója volt. 1704-ben jelent meg *Optika* című könyve, mely kísérleti leírásokat tartalmaz. Ebben írta le híres prizmás kísérletét, mellyel a fehér fényt színeire bontotta. 1703-tól 1727-ben bekövetkezett haláláig a Királyi Társaság elnöke volt Londonban. Soha nem nősült meg. Az erő mértékegységét nevezték el róla. 1 N az az erő, mellyel egy 1 kg tömegű testet 1 s alatt 1 m/s sebességre lehet felgyorsítani.

A korszak ismeretei a mozgás leírására

Milyen ismeretekre támaszkodhatott NEWTON a mozgás leírásában? Abban az időben a következő ismeretek álltak rendelkezésére:

- GALILEITŐL a szabadesés leírása,
- DESCARTESTŐL és HUYGENSTŐL az ütközések leírása,
- HUYGENSTŐL az egyenletes körmozgás gyorsulása,
- Kepler-törvények.

A korszak tudományos problémája az volt, hogy nem tudták megmagyarázni, hogy ha a földfelszín közelében lévő testek leesnek, akkor a Hold miért nem esik le a Földre. Vajon az égen és a Földön más törvényszerűségek érvényesek, ahogy Arisztotelész gondolta?

Kutatási kérdések

Mik lehetnek a mozgások leírásához általánosan használható törvények? Hogyan lehet ezekből megkapni, levezetni KEPLER törvényeit?

A *Principia* szerkezete:

1. A testek (tömegpont) mozgása, a három, NEWTONRÓL elnevezett axióma
2. A testek mozgása súrlódó közegben
3. Gravitáció, a bolygók mozgásának leírása

A Royal Society 1686-os jegyzőkönyvében a következőképp jellemzik könyvét:

„A Kopernikusz-féle hipotézis Kepler által adott változatának matematikai bizonyítása”. Forrás: Royal Society jegyzőkönyve 1686. április 28. (idézi: Simonyi, 1978, p. 218)



A newtoni fizika leglényegesebb megállapítása, hogy nem a mozgás fenntartására, hanem ennek megváltoztatásához szükséges erőhatás. A mozgás állapot, nem pedig folyamat. A könyv első részében található a tömegpont mozgásának leírásához használható és róla elnevezett három törvény, amelyek inkább axiómáknak tekinthetők. Ehhez az oktatás során hozzá szoktak tenni egy negyediket, mely az erők vektoriális összegzését mondja ki. De ez NEWTONNÁL nem külön axióma, hanem azokat követően mondta ki ún. korolláriumként (származékos tétel).

A kortársak a mű érdemét a harmadik részben látták, amely a gravitációs erőtvényt tartalmazza. NEWTON érdemének tekintették, hogy ennek felhasználásával le tudta vezetni a Kepler-törvényeket. Ezt azért fontos megjegyezni, mivel az $\frac{1}{R^2}$ -es távolságfüggést sokan megsejtették, de ennél tovább nem jutottak.

Ehhez könyvében nem az általa megkonstruált integrálszámítás módszerét alkalmazta, mivel azt kortársai nem értették volna, hanem a kor által használatos geometriai módszereket. Ebben a részben kifejezetten sok megfigyelési adat található, mint például a Jupiter és a Szaturnusz holdjainak különböző időpontokban mért helyzetei. Ezekre azért volt szüksége, hogy számításait empirikus adatokkal tudja összevetni. Ezekből is látható, hogy a gravitáció törvényét általános és egyetemes összefüggésnek gondolta – ahogy napjainkban is gondoljuk – nemcsak a Nap és bolygói esetében, hanem minden égitestet illetően. Továbbá megmutatta, hogy a különböző égitestek nemcsak elliptikus, de akár hiperbola- vagy parabolapályán is mozoghatnak.

Munkájának további jelentősége, hogy megmutatta, hogy az égitestek és a Földön lévő tárgyak mozgását ugyanazon természeti törvények határozzák meg. A *Principia* azonnal nemzetközi hírnevet hozott NEWTONNAK, bár a kontinens tudósai a távolhatás elvét, ahogy maga NEWTON is, elvetették. Napjainkban már tudjuk, hogy a fénysebességgel terjedő hatást a gravitációs hullámok továbbbíthatják.

A FÉNY TERMÉSZETÉNEK PROBLÉMÁJA

A fény mibenlétének kérdését régóta kutatta az emberiség. A látás ténye is izgatja az emberek fantáziáját, és a legkülönbözőbb hipotéziseket állították fel erre vonatkozóan. Az egyik legérdekesebb az ókori görögök idejében megjelent elképzelés, miszerint a szemből látósugarak indulnak ki, amelyek letapogatják a tárgyakat. HÉRON (i. sz. 10 – Alexandria, 70) is ezt gondolta, aki az alexandriai iskola tagja volt az ókorban. Ellenben az évszázadokkal korábban élt ARISZTOTELÉSZ (Sztagira, i. e. 384 – Kalkisz, 322) a tárgyról leváló hárttyaként értelmezte a látást.

Egy másik kiemelkedő alexandriai tudós volt Claudius PTOLEMAIOSZ, aki az i. e. 2. században élt. *Optika* című könyvében többek között a fénysugarak fénytörését is tárgyalja. PTOLEMAIOSZ mérési táblázatot is összeállított a levegőben mért különböző beesési szögekhez tartozó, vízben mérhető törési szögekre.

A törési törvény felismerése és helyes leírása már az iszlám aranykorban megtörtént. Ibn SAHL (940–1000) perzsa tudós 984-ben írt könyvében, melyben elsősorban a gömbtükrökről és a lencséről értekezik, helyesen írja le a törési törvényt, melyet nem szögekkel, illetve szögfüggvényekkel fogalmazott meg, hanem szakaszok arányaként. Ez a leírás gyakorlatilag ekvivalens a SNELLIUS és DESCARTES által adottal. Továbbá ezen ismeretet is felhasználva mutatta meg Ibn SAHL, hogy a lencsék esetében a fény összegyűjthető egyetlen pontba, a fókuszpontba.

Az optika területén a legjelentősebb arab tudós IBN AL-HAYTHAM, latinosan ALHAZEN, (Basra, 965 – Kairó, 1039). ALHAZEN munkássága komoly forrásként szolgált az

európai reneszánsz tudósnemzedék (mint pl. KEPLER és GALILEI) számára. Az 1011 és 1021 között készült *Optika* (Kitab al-Manazir) című hétkötetes könyv (a kitab arab szó, jelentése könyv) a legjelentősebb középkori munkának tekinthető. Latinra egy ismeretlen szerzetes fordította le a 12. század végén, a 13. század elején, majd 1572-ben adták ki.

ALHAZEN könyvében definiálta az *átlátszó* és az *átlátszatlan test* fogalmát. Megkülönböztetett elsődleges és másodlagos fényforrásokat. Elsődlegesnek tekintette a Napot, melyből a minden irányban jövő fénysugarak megvilágítják a tárgyakat, majd a tárgyról kiinduló gyengébb sugarak (a visszavert fény) érkeznek a szembe. Tárgyalta a szem szerkezetét, a látás mechanizmusát, a fény útjának meghatározását a látás során. Elvetette a látás ókori látósugár-elméletét. ALHAZEN szerint nem a szem bocsát ki sugarakat, hanem azok érkeznek a szembe a tárgyról. Példaként hozta fel, hogy a nagyon erős fényforrásba való belenézés károsítja a szemet. A testeket a róluk visszavert és a szembe érkező fénysugár miatt látjuk.

Könyvében tárgyalja továbbá a sötétkamra (*camera obscura*) működését a fénysugár-elképzelés alapján. A fordított állású képet a fénysugár-elképzeléssel magyarázta. Vizsgálta, hogy különböző csöveken keresztül milyen esetben lehet átlátni. Például egy egyenes cső végében lévő gyertyát látjuk, de amennyiben meghajlítjuk a csövet, akkor már nem látjuk. Vagy ha bedugjuk a cső végét, akkor sem látjuk azon keresztül a gyertyát, hiszen a fénysugarak nem kerülik meg a csövet. Ezeket a kísérleteket napjainkban is alkalmazzuk az oktatás során a fény egyenes vonalú terjedésének bemutatásához.

ALHAZEN vizsgálta a *homorú* és a *parabolatükör* visszatükrözését is. A fénysugár geometriai *modellje alapján* gondolt ki *kísérleteket, elvégezte azokat, majd vizsgálatait leírta könyvében, hogy más is megismételhesse*. Ezzel egyben megteremtette a *tudományos megismerési módszer* alapjait is.

A Holdat olyan testnek tekintette, amely visszaveri a fényt. A sötétséget úgy határozta meg, mint a fény hiányát. Az árnyékjelenséget a fény egyenes vonalú terjedésének következményeként magyarázta. A fényt véges sebességgel terjedő „hatásnak” gondolta, mely sebesség jóval nagyobb kell, hogy legyen, mint a hang terjedési sebessége. Hasonlóképpen gondolkodott több kortársa is ebben a kérdésben: a fényforrás bocsátja ki a fényt, melyet kis részecskéknak gondoltak.³

GALILEI és KEPLER is ALHAZEN könyvéből tanulták az optikát, mely segítségükre volt távcsövük megalkotásában. DESCARTES a törési törvény megalkotásához a fény hullámmodelljét használta.

3 http://islamsci.mcgill.ca/RASI/BEA/Ibn_Sahl_BEa.htm

http://islamsci.mcgill.ca/RASI/BEA/Ibn_al-Haytham_BEa.htm

A FÉNY MIBENLÉTE: HULLÁM VAGY RÉSZECSKE?

Ez a 17. század egyik fontos tudományos kérdése volt. HUYGENS a fényt NEWTON korpuszkuláris elképzelésével ellentétben hullámnak gondolta. Mégpedig longitudinális hullámnak, holott a fény transzverzális jellegét bizonyító polarizációt is ő fedezte fel. A fény hullámmélete alapján sikerrel magyarázta meg a fényvisszaverődés, a fénytörés és a kettős törés törvényeit.

NEWTON egyik fő érdeme a színek tanulmányozása volt. A prizmás fényfelbontás alapján ő mutatta ki elsőként, hogy a fehér fény a valóságban különböző színű fény-sugarak keveréke. Azonban tévesen arra a következtetésre jutott, hogy a lencsék elkerülhetetlen belső hibája akadályozza, hogy a tárgyakról éles képet alkossanak, mivel a különböző színű sugarakat nem lehet a lencsétől azonos távolságban fókuszálni. Ezért azt hitte, hogy a lencsés távcsövek nem tökéletesíthetők tovább, és ezért megalkotta a színtől független visszaverődésen alapuló tükrös távcsövet.

NEWTON felfogását csak később egyszerűsítették le és fogalmazták meg úgy, mintha a fényt egyszerűen golyók áramlásának tekintette volna. Elhagyták az ezzel kapcsolatos kételkedő álláspontját.

HUYGENS szerint a fény terjedése úgy jön létre, hogy a fényt kibocsátó test meglöki a körülötte lévő igen finom anyagnak, az éternek a részecskéit, majd ezek a meglökött részek rugalmas golyók módjára továbbadják mozgásállapotukat, akárcsak a hang esetében. Azt a feltételezett közeget, amelyben a fény hullámjelenségei lejátszódnak, azaz a fényhullámok mechanikus hordozóját HUYGENS óta „éternek” nevezték. Ezt az elképzelést EINSTEIN vetette el.

Valójában a fény hullám- vagy részecske-természetének kérdése sokáig eldöntetlen maradt. 1800-ban azonban megjelent Thomas YOUNG (Milverton, 1773 – London, 1829) angol fizikus *Kísérletek és kutatások a hangról és a fényről* című tanulmánya. Ebben több interferenciával magyarázható, vagyis egyértelműen hullámmoddelt feltételező kísérletéről számol be.

A képpalkotás is interferenciajelenség. A tárgy és a képpont között minden fény-sugárra meg kell egyezzen az optikai úthossz. Ez azt jelenti, hogy a tárgypontból különböző irányokban elinduló úgynevezett tárgy-hullámok a képpontban fáziskülönbség nélkül találkoznak, tehát erősítik egymást. A leképezéshez használt optikai rendszer a tárgytér pontjaiból kiinduló fénysugarak irányát úgy módosítja, hogy az egy pontból kiinduló sugarak vagy ezek meghosszabbításai ismét egy pontban találkozzanak.

Michael FARADAY azt is tudni kívánta az anyagok mágneses tulajdonságainak vizsgálata során, hogy az optikai jelenségeket is befolyásolja-e a mágneses mező,

mintegy megsejtve azt, hogy a fénynek is köze lehet az elektromágneses mezőhöz. Ez irányú kísérleteinek eredménye lett az a felismerése, hogy a mágneses mező-be helyezett átlátszó anyagokban a fény polarizációs síkja elfordul. Ezt a jelenséget *Faraday-effektus* néven ismerjük.

Napjainkban a fényt egyrészt *elektromágneses hullámnak* tartjuk, mellyel az elhajlási és interferenciajelenségek magyarázhatók. Másrészt *oszthatatlan fotonnak*, amely inkább részecskemodell, mellyel a fotoeffektus magyarázható.

AMPÈRE (LYON, 1775 – MARSEILLE, 1836)

André-Marie AMPÈRE apja selyemkereskedő volt, aki felismerve fia tehetségét különösen a matematika iránt, nagy gondot fordított taníttatására. AMPÈRE apját azonban a francia forradalom alatt arisztokratának nyilvánították és kivégezték. A 18 éves fiatalemberre ez az esemény olyannyira bénítólag hatott, hogy egy időre elvesztette érdeklődését minden iránt. Később Lyonban magántanítással kezdett foglalkozni, majd 1802-ben Bourg-en-Bresse városban a kerületi központi iskola fizikatanára lett. 1805-ben Párizsba hívták az École Polytechnique-ba, ahol a fizika professzora lett. Utolsó éveiben egészsége nagyon megromlott, és tudományos érdeklődése is megcsappant. 1836-ban tüdőbajának gyógyítására Marseille-be utazott, ahol meghalt.



A korszak ismeretei

A newtoni fizika, a mechanika, Coulomb-törvény, Volta-oszlop, vezetők és szigetelők, elektrolízis (melynek segítségével több új elemet is felfedeztek, mint pl. a nátrium és a kálium).

Probléma

Hogyan függnek össze a newtoni mechanika segítségével leírható jelenségek az elektromos és mágneses jelenségekkel? Van-e kapcsolat az elektromos és a mágneses jelenségek között? OERSTED (Rudkøbing, 1777 – Koppenhága, 1851) 1820-as kísérlete az első utalás erre. Ezt levél formában adta közre 1820 július 21-én, hogy „*az elektromos konfliktus nincs a vezető drótbá bezárva*”. (idézi: Zemplén, Szabadváry, & Kontra, 1963, p. 13). Az áram járta elektromos vezető mágneses teret hoz létre maga körül, amely iránytűvel, mágnes elfordulása révén, kimutatható. E kísérlet nyomán lázas kísérletezés indult meg a kutatók körében.

Kutatási kérdés

Ha a vezetőben folyó áram maga körül mágneses mezőt kelt, ami hat a mágnesre, akkor vajon az árammal átjárt vezető is elmozdul a mágnes hatására?

AMPÈRE tovább folytatta a gondolatmenetet: Akkor két árammal átjárt vezető is hat egymásra?

Hipotézis

Az árammal átjárt vezetők is hatnak egymásra, közöttük vonzás vagy taszítás tapasztalható.

Kísérletek

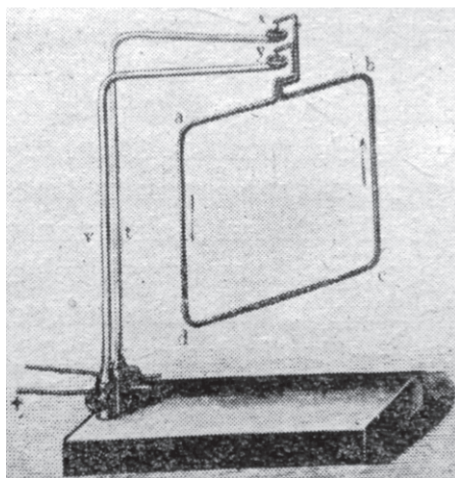
AMPÈRE nagyon precíz kísérleti berendezéseket készített elgondolásai vizsgálatára. Ezekkel tüzetesen megvizsgálta az áram és a mágnes, illetve az áramok egymásra gyakorolt hatását.

Következtetések

Két párhuzamos vezető között vonzás lép fel, amennyiben azonos irányú áram folyik bennük. Ha ellentétes irányúak az áramok, akkor taszítás lép fel.

AMPÈRE ismerte fel azt is, hogy az áram járta szolenoid (tekercs) belsejében is mágneses mező van. A vasmagos tekercs mint elektromágnes, az ő találmányának tekinthető. A nevét viseli az Ampère-féle balkéz-szabály, amely a vezető árama által keltett mágneses tér irányát határozza meg. Az elektromos áram és az általa keltett mágneses tér erőssége között fennálló összefüggést nevezik Ampère-féle gerjesztési törvénynek.

AMPÈRE a molekuláris köráramok létezésének feltételezésével értelmezte az anyag mágneses tulajdonságait. Az elektrodinamika szót is ő használta először 1820-ban. Nevét őrzi az áramerősség SI-mértékegysége, az amper.



Ampère készüléke

JOULE (SALFORD, 1818 – SALE, 1889)



James Prescott JOULE egy Manchester melletti kis helység, Salford sörgyárosának volt a fia. Gyenge testalkata miatt 15 éves koráig otthon nevelkedett, majd magántanártól tanult. A fizikát, a kémiát és a matematikát John DALTONTÓL (Eaglesfield, 1766 – Manchester, 1844) tanulta, akinek a nevéhez a modern atomelméletet kapcsoljuk. JOULE szerint DALTON kulcsszerepet játszott abban, hogy tudóssá vált: „Az ő tanításának köszönhetem, hogy úgy döntöttem, többet akarok saját kutatásaim, kísérleteim által tanulni.”

Nagyon sok kísérletet végzett, amelyekhez a legtöbb esetben saját maga alkotta meg a szükséges eszközöket. A problémát több felől is megközelítette, a mérésekről pontos beszámolókat adott, és a cikkei végén világosan összefoglalta az eredményeket.

1840-ben fedezte fel, hogy a testeket csak egy meghatározott mértékig lehet mágnesezni. Ebben az évben állapította meg azt is, hogy a vezetékekben az elektromos áram által termelt hő arányos a vezeték ellenállásának és az áramerősség négyzetének szorzatával, amit azóta JOULE törvényeként ismerünk. Sok más, a hő és az energia különböző formái közötti kapcsolatról szóló beszámolói között ez volt az első, amelyről cikke jelent meg a Royal Society (Királyi Természettudományos Társaság) lapjában.

1842-től 1878-ig azt vizsgálta, hogy lehetséges-e mechanikai munkát közvetlenül hővé alakítani bármilyen elektromos lépés nélkül. 1850-ben bemutatott híres „lapátkerék” kísérletével alapozta meg a hő és a mechanikai munka közötti azonosság elméletét.

Megállapította továbbá a gázok hirtelen kitágulásakor fellépő lehűlést (Joule-Thomson-effektus, Lord Kelvin, született William THOMSON, Belfast, 1824 – Netherhall, 1907), amit a hűtőrendszerekben azóta is használnak. JOULE ismerte fel azt is, hogy a gáznak az edény falára gyakorolt nyomása a részecskék fallal történő ütközéséből származik.

Tudományos tevékenységének elismeréseként a Királyi Társaság a tagjai közé választotta. 1875-ben elszegényedett, és az azt követő években folyamatosan betegeskedett egészen 1889. október 11-én Sale-ben (Cheshire megye, Anglia) bekövetkezett haláláig. Tiszteletére róla nevezték el az energia, a munka és a hő közös nemzetközi mértékegységét, a joule-t.

Probléma

Az elektromos, a mechanikai munka és a hő kapcsolata. Ismert volt néhány olyan jelenség, mely a kapcsolatra utalt, mint például RUMFORD, eredeti nevén Benjamin THOMPSON, Rumford grófja, Woburn (Észak-Amerika), 1753 – Auteuil, Párizs mellett, 1814), ágyúfűrészes kísérlete. Az ágyúcső kifűrészeskor, ami mechanikai munkavég-

zés, nagyon felmelegszik az ágyúcső. DALTON két jégdarabot dörzsölt össze, melynek eredményeképp azok elkezdtek megolvadni. Akkorra már világossá vált, hogy a halmazállapot-változáshoz is energia szükséges. Az árammal átjárt vezető felmelegszik, esetleg izzásba is jön. Az úgynevezett hőgépek már közel egy évszázada működtek. Tehát a kapcsolat megtalálása a *munka*, a *hő* és az *elektromos áram* hatásai között a korszak egyik fontos tudományos problémája volt.

Kutatási kérdés

Mekkora lehet az az elektromos, illetve mechanikai munka, amely egységnyi hőt szolgáltat?

Vizsgálat

JOULE a mechanikai munkát súlyok adott magasságból való süllyedéséből számolta, míg a hőt adott mennyiségű víz, majd később higany hőmérsékletének emelkedéséből.^{4,5}

Joule kutatásainak értékelése

JOULE munkássága előkészítette az energiamegmaradás törvényének kimondását, mely alapvető jelentőségű nemcsak a fizika, de minden természeti jelenség magyarázatához, értelmezéséhez.

THOMSON (MANCHESTER, 1856 – CAMBRIDGE, 1940)



Joseph John THOMSON apja könyvkereskedő és -kiadó volt, ő maga mérnöknek tanult a Manchesteri Egyetemen. Érdeklődése azonban egyre inkább a fizika tudománya felé fordult. 1876-ban ösztöndíjjal Cambridge-be utazott, és élete végéig e városban munkálkodott. Az elektron, az izotópok felfedezésével és a tömegspektrométer felfedezésével vált híressé. 1906-ban tüntették ki a fizikai Nobel-díjjal az elektron felfedezéséért és a gázok elektromos vezetésével kapcsolatos eredményeiért.

1899-ben megmutatta, hogy a fényelektromos jelenség során kilépő részecskék fajlagos töltése megegyezik a katódsugárzás részecskéinek fajlagos töltésével, tehát a fényelektromos jelenségben is elektronok lépnek ki az anyagból. 1904-ben megalkotta saját atommodelljét. Ebben a „mazsolás kalácsnak” nevezett modellben az atom pozitív elektromos közegében negatív töltésű elektronok mozognak. 1919-ben vonult vissza, a Cavendish Laboratóriumot pedig legjelesebb tanítványa, Ernest RUTHERFORD vezetésére bízta.

4 A hő és a mechanikai energia közös formái közötti egyenérték-reláció létezéséről <http://chemonet.hu/hun/olvaso/histchem/ho/joule.html>

5 <https://www.netfizika.hu/a-ho-es-a-mechanikai-munkavegzes-kapcsolata-joule-lapatkerekes-ki-serlete>

AZ ELEKTRON FELFEDEZÉSE

Joseph THOMSON elektromos áram ritkított (mindössze néhány pascal nyomású) gázokban való vezetésének vizsgálata közben fedezte fel az elektront 1897-ben.

Probléma

A 19. század végére sok ismeret gyűlt össze az anyag elektromos tulajdonságairól. Az elektromos és az atomi tulajdonságok közti kapcsolatra ugyan már FARADAY elektrolízis törvényei is utaltak, de annak mibenléte még nem volt teljesen világos. Ezt találta meg THOMSON.

Már az 1870-es évektől kezdve ismerték azt a jelenséget, hogy légritkított térben lévő fémelektrodok között megfelelően nagy potenciálkülönbség (néhány ezer volt) esetében a katódról sugárzás indul ki, amelyet katódsugárzásnak neveztek el. Az eszköz neve pedig katódsugárcső. A katódsugarak elektromos és mágneses eltérítésével végzett kísérletek hatására vált egyre erősebbé az az elképzelés, hogy a katódsugár nem elektromágneses sugárzás, hanem negatív töltésű korpuszkulákból áll. De meg kell jegyezzük, hogy voltak, akik inkább az elektromágneses hullámokhoz hasonló hullámjelenségnek gondolták. Tehát e *kétféle elképzelés között kellett választani*.

Kutatási kérdések

Milyen alkotóelemei lehetnek a katódsugárzásnak? Honnan származhatnak a katódsugárzás alkotóelemei?

„Mivel a katódsugarak negatív elektromos töltést hordoznak, az elektrosztatikus erő hatására úgy térülnek el, mintha negatív elektromos töltésűek lennének, és a mágneses erő úgy hat rájuk, mintha olyan negatív elektromos töltésű testre hatna, amely ezeknek a sugaraknak a pályáján mozog: csak arra tudok következtetni, hogy ezek olyan negatív elektromos töltések, amelyeket anyagi részecskék hordoznak. Ekkor rögtön felvetődik az a kérdés, hogy „Mik ezek a részecskék? Atomok vagy molekulák, vagy az anyag még finomabb részekre osztásával keletkeztek?” (Thomson, 1897)



Vizsgálatok

THOMSON a korpuszkuláris elképzelés mellett volt, és annak fényében kezdte el *vizsgálatait*, amelyek során kimutatta, hogy a katódsugár olyan részecskékből áll, *amely részecskék azonosak, bármilyen elemet is használt katódként vagy töltőgázként*. Továbbá fémekből nemcsak a katódsugárcsőben léphetnek ki az előbb említett részecskék, hanem hevítés, sőt bizonyos fémekből megvilágítás hatására is.

Következtetés

THOMSON arra a következtetésre jutott, hogy ez a részecske *minden elem atomjának alkotórésze*. Ezt nevezték el elektronnak. A szó görög eredetű és borostyánkővet jelent. (A borostyánkő dörzsölés hatására elektromos állapotba kerül, amely jelenséget már az ókori görögök is ismerték, bár magyarázni természetesen nem tudták. Erre a régen ismert tapasztalatra emlékeztet az elnevezés.) A nevet nem THOMSON, hanem Georg J. STONEY (Birr, 1826 – London, 1911) író fizikus adta már 1874-ben, amivel rámutatott arra, hogy amennyiben az anyag atomos szerkezetű, akkor az elektromosságnak is kell hogy legkisebb adagja legyen.

További kérdések

Az újonnan felfedezett részecskéknak *mekkora* a tömege és a töltése?

Az elektron tömegének meghatározása a következő lépések szerint történhet:

1. Az elektronok a katódsugárcsőre kapcsolt gyorsító feszültség hatására a munkatétel alapján meghatározható mozgási energiára tesznek szert, ami: $qU = \frac{1}{2}mv^2$.
2. A katódsugarat mozgási irányára merőleges, homogén mágneses mezőbe vezetjük, ahol azok körpályán fognak mozogni. A mozgásegyenlet a következőképp írható fel:

$$m \frac{v^2}{R} = qvB,$$

amiből a sebesség

$$v = \frac{q}{m}RB,$$

ezt beírva a munkatételbe:

$$qU = \frac{1}{2}m \frac{q^2}{m^2}R^2B^2,$$

ahonnan az elektron fajlagos töltése, $\frac{q}{m}$ kifejezhető: $\frac{q}{m} = \frac{2U}{R^2B^2}$.

A katódsugárcsőből kilépő sugárzás negatív töltésű részecskéinek fajlagos töltése a mérési eredmények szerint $-1,758804 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$. Ennél nagyobb abszolút értékű fajlagos töltést sohasem észleltek. Az elektron hordozza tehát a tömegegységre jutó legnagyobb töltést.

THOMSON így írt 1897-ben az elektrorról:



„Ezekből a mérésekből azt látjuk, hogy $\frac{m}{q}$ értéke független a gáz természetétől,

nagysága (10^{-7}) pedig nagyon kicsiny a 10^{-4} értékhez képest, amely eleddig ezen mennyiség legkisebb ismert értéke volt, és amely érték az elektrolízisben található hidrogénionhoz tartozik...

$\frac{m}{q}$ kicsiny volta eredhet m kicsinységéből, vagy q nagyságából, vagy a kettő kombinációjából...

... Ilyen módon a katódsugarak az anyag új állapotát jelentik, egy olyan állapotot, amelyben az anyag részekre bomlása sokkal magasabb fokú, mint a közönséges gázállapotban: ez egy olyan állapot, melyben minden anyag – származzon az hidrogénből, oxigénből vagy bármely más forrásból – már egy és ugyanazon fajta; lévén ez az a szubsztancia, amelyből az összes kémiai elem felépül.” (Thomson, 1897)

Az elektron töltését 1910-ben Robert MILLIKAN (Morrison 1868 – San Marino, 1953) amerikai fizikus mérte meg nagy pontossággal. THOMSON az elektront az anyag univerzális összetevőjének tekintette, és az atomok belső szerkezetének magyarázatára megalkotta az első atommodellt. Elképzelése szerint az atom viszonylag nagy tömegű pozitív elektromos töltésű gömb, melyben parányi elektronok helyezkednek el. Az elektronok száma annyi, hogy az elektronok együttesen éppen semlegesítik az atom pozitív töltését, és ez a szám a különböző elemek atomjainál más és más. A meghatározott pontokban levő elektronok nyugalmi helyzetük körül rezeghetnek. THOMSON atommodelljét hamarosan RUTHERFORD fejlesztette tovább.

RUTHERFORD (BRIGHTWATER, 1871 – CAMBRIDGE, 1937)



Ernest RUTHERFORD új-zélandi születésű brit fizikus. Új-Zéland Déli-szigetén született egy 12 gyermekes család negyedik gyermekeként. Apja Skóciából kivándorolt földműves volt, anyja Angliából kivándorolt tanítónő. Az állami iskola elvégzése után ösztöndíjat nyert egy magániskolába, ahol kitűnt tanulmányi eredményeivel. Az egyetemet Új-Zélandon végezte. 1894-ben matematikából és fizikából doktorált, majd a cambridge-i Cavendish Laboratóriumban J. J. THOMSON mellett kezdte a radioaktivitás jelenségét kutatni. 1897-ben ő vezette be az alfa-, béta- és gamma-sugárzás elnevezéseket. 1908-ban kimutatta, hogy az alfa-részecskék valójában héliumatommagok. 1898–1907-ig a montreali McGill egyetem fizikaprofesszora volt. 1907-ben elfogadta a manchesteri egyetem meghívását a fizika tanszék élére.

1908-ban kémiai Nobel-díjat kapott „az elemek bomlásának vizsgálataiért és a radioaktív anyagok kémiájában elért eredményeiért”. Szóráskísérletei során 1911-ben felismerte, hogy az atomok pozitív töltése az atom nagyon kicsiny középső részében, az atommagban koncentrálódik.

1919-ben a cambridge-i Cavendish Laboratórium vezetője és a kísérleti fizika professzora lett, itt a fizika történetének egyik legjelentősebb kutatói iskoláját hozta létre, melyből több Nobel-díjas is kikerült. Ugyanebben az évben sikerült mesterséges kémiai elemátalakítást létrehoznia: nitrogén atommagot bombázott alfa-részecskékkel, e reakció terméke volt az oxigén-17 és a proton, melyet RUTHERFORD nevezett el.

Problémák

THOMSON mazsolás kalács atommodellje nem magyarázott meg minden addig ismert tényt. Például LÉNÁRD Fülöp (Pozsony, 1862 – Messelhausen, 1947) magyar származású Nobel-díjas (1905) fizikus, a katódsugarak vékony fólián való kivezetetőségének magyarázatára azt gondolta ki, hogy az atom egy része üres.

Kutatási kérdések

Milyen lehet az atom szerkezete? Hogyan helyezkednek el az atomban a pozitív töltések? Hogyan lehetne ezt megvizsgálni?

Vizsgálat

RUTHERFORD a munkatársaival vékony fémlemezeken áthaladó alfa-részecskék szóródását vizsgálta.

Tapasztalat

A szóráskísérlet meglepő tapasztalata az volt, hogy nagyon nagy szögben, sőt hátrafelé szóródott alfa-részecskéket is találtak.

A tapasztalat matematikai leírása

A nevezetes Rutherford-féle szóródási formula a következő:

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{Ne^4 Z'^2 s}{m^2 v_0^2 \sin^4 \left(\frac{\vartheta}{2} \right)} \Delta \Omega,$$

ahol s a fólia vastagsága, n az áthaladó α -részecskék száma, amelyek közül Δn szóródik a ϑ szög körüli kis $\Delta \Omega$ térszögbe. N a fólia térfogategységében lévő atomok száma, e az elemi töltés, m és v_0 az α -részecske tömege, illetve kezdeti sebessége.⁶

Nézzük meg egy R sugarú töltött Q gömb által kialakított elektromos mező térerősségének alakulását!

Ha $r > R$, vagyis a gömbön kívül vagyunk, akkor a térerősség úgy változik a gömb középpontjától mért távolság függvényében, mintha a teljes töltés a középpontban lenne, vagyis:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}.$$

Ha $r < R$, akkor az r sugáron belül lévő töltést kell csak figyelembe venni, vagyis:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q(r)}{r^2}$$

$$\frac{Q(r)}{Q} = \frac{\frac{4\pi}{3} r^3}{\frac{4\pi}{3} R^3} = \frac{r^3}{R^3}$$

$$Q(r) = \frac{Qr^3}{R^3}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qr^3}{R^3} \frac{1}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^3} r.$$

Ha $R = r$, akkor

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2}.$$

⁶ A Szilárd Leó Verseny szimulációs feladatai:

<https://www.szilardverseny.hu/cikkek/szimulacios-feladatok>

Rutherford kísérlet szimulációja: <http://sukjaro.eu/SCsaba/Rutherford/Rutherford.htm>

Vagyis a térerősség nagysága a következőképpen alakul a gömb középpontjától mért távolság függvényében: lineárisan nő egészen a gömb felületéig, majd onnan $\frac{1}{r^2}$ -nek megfelelően csökken. Tehát a legnagyobb az értéke a gömb felületén. Továbbá az is látszik, hogy minél kisebb a gömb R sugara, annál nagyobb a felületén a térerősség!

A szórási formulából sikerült továbbá a Z' értékét is meghatározni a nagyobb rendszámú elemek esetében, végül felismerték, hogy ez éppen a rendszámmal azonos!

Így egy kémiai elem rendszámának hármass jelentése van: az elem periódusos rendszerbeli sorszáma, az elem atomjának magjában lévő pozitív elemi töltések száma és a semleges atom elektronjainak száma. Ezek alapján a Rutherford-féle atommodell a következőképp jellemezhető: egy Z rendszámú elem atomjának tömege túlnyomórészt a Ze pozitív töltésű atommagban összpontosul, és e mag körül „kering” a Z számú elektron, hasonlóan, mint ahogyan a bolygók keringenek a Nap körül. Ezért ez az elképzelést az „*atom bolygómodelljének*” is nevezik.

Ez a modell nagy fejlődést jelentett a régebbi elképzelésekkel szemben, azonban van egy súlyos hiányossága: elektrodinamikailag nem stabil. Ugyanis az elektronnak a keringés során – amely két egymásra merőleges harmonikus rezgés eredőjének tekinthető – mint a rezgő dipólusnak, elektromágneses hullámokat, fényt kellene kisugároznia. A kisugárzás miatt viszont az elektron folytonosan energiát veszítene, a maghoz egyre közelebbi pályán, vagyis spirális mentén mozogna egyre nagyobb frekvenciával, és végül a magba zuhanna, így az atom megsemmisülne. Továbbá a keringési frekvenciával együtt folyamatosan nőne a kisugárzott fény frekvenciája is, vagyis folytonos színeképet bocsátana ki. A tapasztalat viszont az, hogy az atomok léteznek, és vonalas színeképet bocsátanak ki.

További kutatási kérdések

Miként okozhatják az atomszerkezet mennyiségi különbségei az elemek minőségi tulajdonságaiban megfigyelt különbségeket? Hogyan lehetséges az, hogy a 17 elektronnal rendelkező klór rendkívül reakcióképes, sárga színű gáz, ami sok vegyület alkotórésze; a 18 elektronnal rendelkező argon szintelen nemesgáz és egyáltalán nem alkot vegyületeket; a 19 elektronos kálium pedig alkálifém, ami szintén nagy reakciókészséggel rendelkezik és sok vegyület alkotórészét képezi? Miként képes egy többletelektron vagy egy elektron hiánya ilyen nagy különbségeket létrehozni az atomok tulajdonságaiban?

Ezekre a kérdésekre a kvantumelmélet tudott választ adni.

MARIE CURIE (VARSÓ, 1867 – PASSY, 1934) ÉS PIERRE CURIE (PÁRIZS, 1859 – PÁRIZS, 1906)



Maria Salomea SKŁODOWSKA Varsóban született 1867. november 7-én. 1883-ban érettségizett a varsói leánygimnáziumban, kiváló eredménnyel. Sokáig magántanítónaként dolgozott, később nevelőnői állást vállalt vidéken. Szabadidejében matematikai, fizikai, szociológiai és filozófiai tanulmányokat folytatott. Varsói házitanítósa alatt kezdte meg tanulmányait a Varsói Ipari és Mezőgazdasági Múzeum által szervezett kémiai analitikai tanfolyamon unokafivére, Józef BOGUSKI (1853–1933) vezetése alatt, aki korábban a periódusos rendszert megalkotó Dimitrij MENGYELEJEV (Tobolszk, 1834 – Szentpétervár, 1907) orosz kémikus asszisztenseként dolgozott. Maria itt tett szert azokra a nagyon fontos analitikai kémiai ismeretekre, melyek segítségével évekkel később sikerült előállítania a polóniumot és a rádiumot.

Maria 1891-ben kezdte meg tanulmányait Párizsban a Sorbonne-on. 1893-ban fizikából, 1894-ben matematikából szerezte meg diplomáját. Ugyanebben az évben találkozott össze Pierre CURIE-vel, aki ekkoriban a mágnességet kutatta egy párizsi főiskolán. Közös tudományos érdeklődésük hozta őket össze, mivel ezekben az időkben Maria a különböző acélok mágneses tulajdonságait vizsgálta. 1895 júliusában összeházasodtak. Marie CURIE 1898 elején kezdte el doktori munkáját. Ehhez keresett témát, és rátalált Henri BECQUEREL (Párizs, 1852 – Le Croisic, 1908) eredményeire. Időközben férje, Pierre CURIE is olyan érdekesnek és izgalmasnak találta felesége kutatásait, hogy abbahagyta saját, sok eredményt hozó kutatási témáját és csatlakozott a sugárzó anyagok a tanulmányozásához. Marie CURIE a témából készült disszertációját rövid időn belül nagyon sok nyelvre, többek közt magyarra is lefordították. (Radnóti, 2011)

Milyen ismeretekre lehetett támaszkodni ebben az időben?

Gyakorlatilag készen álltak a klasszikus mechanika, a hőtan és az elektrodinamika törvényei. A kémikusok nagy valószínűséggel állították, és sok fizikus is elfogadta, hogy az anyag atomokból áll. El tudták különíteni az elemeket, a vegyületeket és a keverékeket. Rájöttek, hogy az egyes elemek atomjai egymástól tömegükben különböznek, így meghatározták az egymáshoz viszonyított tömegeket, az úgynevezett relatív atomtömegeket. Ezek segítségével MENGYELEJEV megalkotta a periódusos rendszert, melyben azonban még sok üres hely volt.

A 19. század végére ismertté vált MAXWELL (James Clerk MAXWELL Edinburgh, 1831 – Cambridge, 1879) elmélete, majd HERTZ (Heinrich Rudolf HERTZ, Hamburg, 1857 – Bonn, 1894) kísérletei nyomán felfedezték az elektromágneses hullámokat és azt, hogy a fény is ebbe a családba tartozik. A század végén további sugárzásokat fe-

dezték fel, mint például a röntgensugarak, majd a foszforeszkálás és a fluoreszcencia tanulmányozása következett. A katódsugárzás tanulmányozása révén felfedezték az elektront, ismert volt a csősugárzás. Felfedezték a színeképelemzést is, de csak mint az elemek azonosítására szolgáló módszert. A színeképet kvázi vonalkódként használták, de azt, hogy hogyan jön létre, a kor tudósai nem tudták megmagyarázni.

A korszak tudományos problémái

Honnan származik a Becquerel-féle sugárzás? Egyáltalán hányféle sugárzás van? Hogyan keletkezik az atomok színeképe, és miért vonalas?

Kutatási kérdések

Mely anyagok bocsátanak ki sugárzást? Mitől függ, hogy egy anyag mennyi sugárzást bocsát ki? Hogyan lehet azt mérhetővé tenni?

Mérési lehetőségek

A radioaktivitás felfedezését követően az első fontos probléma a különböző *menyiségi összehasonlításokra* lehetőséget adó mérési módszerek kidolgozása volt. A sugárzás erősségére például az általa a levegőben okozott elektromos vezetőképesség (ionizáció) mérése alapján lehet következtetni. Marie CURIE ezt a módszert alkalmazta, melyhez a mérőeszközt férje készítette, aki ekkor kapcsolódott be a kutatásaiba. A rendkívül kicsi (pikoamper nagyságrendű) áramok pontos mérésére alkalmas mérőberendezést Pierre CURIE készítette a fivérével közösen felfedezett piezoelektromosság jelenségének felhasználásával. Ezzel a módszerrel Marie CURIE megmérte egy sor fém, só, oxid és ásvány sugárzóképeségét.

A mérések tapasztalatai:

- Minden megvizsgált uránvegyület aktív volt, és általában annál aktívabb, minél több uránt tartalmazott.
- A tórium és vegyületei is emittálnak ionizáló sugárzást.
- Egyes uránércek aktivitása nagyobb, mint a fém uráné és az urán-oxidé.

Következtetések

A radioaktivitás atomi tulajdonság, az urán és a tórium atomok tulajdonsága. Mivel a radioaktivitás atomi tulajdonság, ezért egy érc aktivitása csak akkor lehet nagyobb, mint a tiszta uráné, ha az érc más radioaktív elemet is tartalmaz.

További kutatások

Marie CURIE fontos további kutatási feladatának tekintette, hogy ezeket az új elemeket megtalálja.

Hipotézis

„...úgy gondoljuk, hogy az uránszurokércből általunk kivont anyag olyan fémet tartalmaz, amelyet eddig még nem írtak le, és analitikai tulajdonságai hasonlóak a bizmut tulajdonságaihoz.” (Curie & Curie, 1898)



Marie CURIE hipotézise teljes mértékben illeszkedett a korszak tudományos gondolkodásához. Elfogadott volt, hogy MENGYELEJEV periódusos rendszerében vannak üres helyek, melyekbe addig még fel nem fedezett elemek kerülhetnek.

Marie CURIE 1903-ban készült doktori értekezésének címe: *Radioaktív anyagokra vonatkozó vizsgálatok*. Ebben az évben kapta meg a házaspár BECQUERELLEL közösen a fizikai Nobel-díjat „sugárzásjelenségek vizsgálataiért”. 1911-ben Marie CURIE megkapta a második Nobel-díjat, de már egyedül, mivel férje, Pierre CURIE 1906-ban balesetben meghalt. A díj kémiai volt, indoklása: „a rádium és polónium felfedezéséért, a rádium fémállapotban való előállításáért, természetének és vegyületeinek vizsgálataiért”.

Marie CURIE élete hátralévő éveiben megalapította a Curie Intézetet, mely számtalan nemzet kutatóinak teremtett lehetőséget a radioaktivitással való megismerkedésre. Számtalan meghívást kapott, többször járt az Amerikai Egyesült Államokban is lányaival. Idősebb lánya, Irène CURIE (Párizs, 1897 – Párizs, 1956) szintén Nobel-díjat kapott férjével, Frédéric JOLIOT-CURIE-vel (Párizs, 1900 – Párizs, 1958) a mesterséges radioaktivitás felfedezéséért. Fiatalabb lánya, Ève CURIE (Párizs, 1904 – New York, 2007) író lett, aki többek közt megírta édesanyja élettörténetét.

A CURIE házaspár munkássága nagyon sok további kutatást indukált, amit a kezdetektől fogva ők maguk is minden lehetséges módon elősegítettek – például azzal, hogy rögtön leírták az eredményeiket, és radioaktív mintákat adtak több kutatócsoportnak.

RADIOAKTIVITÁS, AZ ATOMENERGIA ALKALMAZÁSA

A természetben szép számmal megtalálható instabil, radioaktív atommagok α -, β - és γ -sugárzást, vagy ezek valamelyikét bocsátják ki. Az α -részecske hélium atommag, pontosabban 4-es tömegszámú izotóp, mely két protonból és két neutronból áll. A β elektronokat, vagy mesterséges izotópok esetében pozitronokat jelent,

a γ pedig elektromágneses sugárzás. Az ólomnál nagyobb rendszámú atommagok *radioaktív családokba* (4 család) rendezhetők. De mesterségesen szinte minden elem többféle izotópját állították már elő. Ezek szerepe óriási az orvostudományban mind a diagnosztikai, mind pedig a terápiás felhasználást tekintve, továbbá sok ipari berendezés részét képezik.

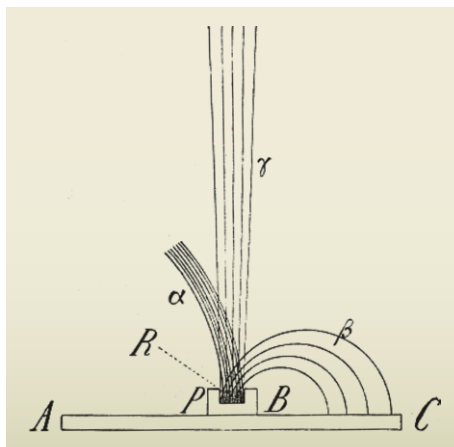
A mágneses tulajdonság tanítása során a témával foglalkozó tankönyvekben a Marie CURIE doktori értekezésében szereplő ábrát, vagy ahhoz nagyon hasonlót szoktak bemutatni. A leírás szerint az ABC fényképezőlemezre az R rádiumot egy P ólomtömbbe vágott kis mélyedésbe helyezik el, és annak környezetében erős homogén, a rajz síkjára merőleges mágneses teret létesítenek, melynek hatására a preparátumból kiinduló sugarak különválnak.

A mágneses mezőbe az indukcióvonalakra merőlegesen érkező töltött testek (a β - és az α -részecskék) körpályán, illetve körív mentén mozognak a Lorentz-erő hatására, amíg el nem veszítik energiájukat az ionizáló hatásuk következtében.

Marie CURIE dolgozatában utalt arra is, hogy az α -részecskék energiája meghatározott érték. Az ábrájából szépen látszik, hogy koncentrikus köríveket rajzolt, melyeknek meghatározott végük van, és nem túl nagy mértékű az eltérés.

A β -részecskék esetében azonban ez közel sincs így. Ezt jelzi az ábrán is, hiszen a β -sugarak mágneses mezőben való eltérülésének érzékeltetésére több különböző sugarú körívet rajzolt, továbbá nagyobb mértékű az eltérés. Az eltérés mértékének különbözősége a két részecske tömegkülönbsége miatt van. A nagyobb tömeg nagyobb tehetetlenséget jelent, tehát a mező kevésbé képes azt, esetünkben az α -részecskét, eltéríteni.

A β -részecskék esetében Marie CURIE megjegyezte, hogy ez olyan, mint egy folytonos spektrum, nem meghatározott energiájú részecskék keletkeznek, nem az atomi színekhez hasonló diszkrét energia jelenik meg. Csak évtizedekkel később fedezték fel a neutrínót, mely a kibocsátás folyamatában együtt keletkezik az elektronnal vagy a pozitronnal, és a két részecske osztozik a teljes energián. Tehát az ábra rendkívül jól jellemzi a radioaktív sugarak útját a mágneses mezőben mai szemmel is!



A mágneses mező hatása a radioaktív sugárzásra

Az *atomenergia felhasználására* kétféle módot ismert meg az emberiség, az atom-bombát és az atomerőműveket. Ezek kifejlesztése gyakorlatilag egyszerre történt. (Horváth & Radnóti, 2017; Radnóti, 2018) A legfontosabb felismerések a következők voltak:

- maghasadás;
- láncreakció, kritikus tömeg;
- atommagok fúziója.

MAGHASADÁS

Problémák

A neutron 1932-es felfedezését követően új eszközt kaptak az atommaggal foglalkozó kutatók. A neutron semleges töltésű lévén könnyebben be tud hatolni az atommagba, mint a korábban alkalmazott, töltéssel rendelkező protonok, illetve alfa-részecskék, hiszen nem lép fel taszítás. Enrico FERMI (Róma, 1901 – Chicago, 1954) 1934-ben, majd később 1938-ban Irène CURIE is furcsa termékeket talált az urán atommagok neutronnal történő bombázása során. Otto HAHN (Frankfurt, 1879 – Göttingen, 1968) német vegyész úgy döntött, hogy megvizsgálja ezeket a termékeket.

Kutatási kérdés

Milyen termékek keletkezhetnek az urán atommagok neutronnal történő bombázása során, és milyen mechanizmusról lehet szó?

Eredmények

Otto HAHN vizsgálatai során több hasadási terméket azonosított, mint bárium, krypton, stroncium. A mechanizmust, hogy ténylegesen az atommag elhasadásáról van szó, Lise MEITNER (Bécs, 1878 – Cambridge, 1968) osztrák fizikus tisztázta.

LÁNCREAKCIÓ, KRITIKUS TÖMEG

Problémák

SZILÁRD Leó (Budapest, 1898 – La Jolla, 1964) 1934-ben Londonban egy sétája közben pusztán gondolati úton arra a következtetésre jutott, hogyha lenne olyan atommag, mely egy neutron befogását követően két neutront tudna kibocsátani valamilyen folyamat következtében, akkor ez mintegy láncszerűen további hasonló folyamatot tudna előidézni. Meg is próbált ilyet keresni, de nem talált. 1939-ben

New Yorkban BOHR egy konferencián beszámolt a HAHN által felfedezett maghasadásról. Ekkor SZILÁRD Leóban ismét előkerült a már elvetett gondolat, hogy mégis lehetséges a láncreakció.

Kutatási kérdések

A maghasadás során hány neutron keletkezik? Azok képesek-e további hasadási folyamatot előidézni?

Vizsgálatok

A maghasadás hírének és a láncreakció lehetőségének hallatán több laboratóriumban is megállapították, hogy igen, az urán hasadása során több neutron is keletkezik. Tehát a láncreakció megvalósítható. A hasadást ténylegesen csak az urán 235-ös tömegszámú izotópja produkálja. SZILÁRD elméleti úton rájött, hogy a tényleges láncreakcióhoz még szükséges egy úgynevezett kritikus térfogat, illetve tömeg is, hogy a keletkező neutronok ne szökjenek meg a felületen, maradjon annyi a fémtömbben, hogy a reakciólánc fenn tudjon maradni.

Felhasználás

A láncreakció létének bizonyítására megépítették Chicagóban az első atomreaktort, majd elindult a Manhattan projekt, melynek során elkészülnek az első atombombák. Ezek közül kettőt le is dobtak Japánra a második világháború végén. Majd elkezdődött a fegyverkezési verseny, illetve a nukleáris energia polgári célú alkalmazási lehetőségeiként az atomerőművek kifejlesztése. Jelenleg több mint 400 atomerőművi blokk üzemel a Földön, és több van tervezés alatt. Ezek alkalmazásának nagy előnye, hogy működésük során nem keletkezik szén-dioxid, továbbá egységnyi tömegű fűtőelemből nagyságrendekkel több energia nyerhető ki, mint a kémiai reakciókkal.

IRODALOM

- Copernicus, N. (1543). *De Revolutionibus Orbium Coelestium*. Petreius, Nürnberg.
<https://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-420>
- Curie, P., & Curie, Mme P. (1898). Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende. [Az uránszurokérc egyik radioaktív anyagáról.] *Comptes rendus*, 127, 175.
- Horváth, A., & Radnóti, K. (2017). 75 éve lett kritikus a chicagói reaktor, 115 éve született Wigner Jenő. *Fizikai Szemle*, 67(12), 421–429. <http://fizikaiszemle.hu/szemle/tartalom/33>
- Koestler, A. (1996). *Alvajárók*. Budapest: Európa Kiadó.
- Kovács, L. (1997). 100 éve: elektron. Lénárd Fülöp és J. J. Thomson katódsugárcsővei. *Természet Világa*, 128(4), 169–172. <https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/olvaso/histchem/mol/elektron.html>
- Kutrovác, G. (2015). Miért helyezte Kopernikusz a Napot a középpontba? *Magyar Tudomány*, 176(3), 258–267. <http://www.matud.iif.hu/2015/03/01.htm>
- Radnóti, K. (2011). 2011. A Kémia Éve – Marie Curie kísérletei. *Nukleon*, 4(2), 1–6.
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_4_2_90_Radnoti.pdf
- Radnóti, K. (2018). Két magyar marslakó: Szilárd Leó és Teller Ede. *Fizikai Szemle*, 68(9), 308–314.
<http://fizikaiszemle.hu/szemle/tartalom/41>
- Simonyi, K. (1978). *A fizika kultúrtörténete*. Budapest: Gondolat Kiadó.
- Thomson, J. J. (1897). Katódsugarak. *Philosophical Magazine*, 44, 293.
<https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/olvaso/histchem/mol/thomson.html>
- Zemplén, J., Szabadváry, F., & Kontra, Gy. (1963). *A kísérletezés úttörői a XIX. században*. Budapest: Gondolat Kiadó.

Internetes források

- <https://tudosnaptar.kfki.hu/historia/>
- <http://chemonet.hu/hun/olvaso/histchem/ho/joule.html>
- https://islamsci.mcgill.ca/RASI/BEA/Ibn_al-Haytham_BEa.htm
- https://islamsci.mcgill.ca/RASI/BEA/Ibn_Sahl_BEa.htm
- <http://www.szilardverseny.hu/cikkek/szimulacios-feladatok>
- <http://sukjaro.eu/SCsaba/Rutherford/Rutherford.htm>
- <https://www.netfizika.hu/a-ho-es-a-mechanikai-munkavegzes-kapcsolata-joule-lapatkerekes-kiserlete>